



Etude statistique des affaissements miniers dans le bassin ferrifère lorrain et de leurs conséquences sur le bâti en surface

Olivier Deck, Marwan Al Heib, Françoise Homand

► To cite this version:

Olivier Deck, Marwan Al Heib, Françoise Homand. Etude statistique des affaissements miniers dans le bassin ferrifère lorrain et de leurs conséquences sur le bâti en surface. Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'ingénieur (JNGG 2002), Oct 2002, Nancy, France. ineris-00972382

HAL Id: ineris-00972382

<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00972382>

Submitted on 3 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ETUDE STATISTIQUE DES AFFAISSEMENTS MINIERS DANS LE BASSIN FERRIFERE LORRAIN ET DE LEURS CONSEQUENCES SUR LE BATI EN SURFACE

DECK Olivier¹, AL HEIB Marwan², HOMAND Françoise³

¹Laboratoire Environnement Géomécanique et Ouvrages (LAEGO -INPL-ENERIS), Ecole des Mines de Nancy, Parc Saurupt, 54042 Nancy Cedex, www.laego.org, deck@mines.u-nancy.fr.

²Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (LAEGO -INPL-ENERIS), Ecole des Mines de Nancy, Parc Saurupt, 54042 Nancy Cedex, www.laego.org, heib@mines.u-nancy.fr.

³Laboratoire Environnement Géomécanique et Ouvrages (LAEGO -INPL-ENERIS), Ecole de Géologie, Rue du doyen Marcel Roubault, BP 40, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy, www.laego.org, homand@ensg.inpl-nancy.fr.

RESUME : Les récents affaissements miniers qui se sont produits à la fin des années 90 dans le bassin ferrifère lorrain ont été à l'origine d'importantes dégradations du bâti. Il est nécessaire de mieux comprendre les relations entre les mouvements de terrain induits par ces affaissements et les dégradations qu'ils entraînent. Pour ce faire, une base de données a été réalisée répertoriant l'ensemble des structures lorraines endommagées ainsi que les mouvements de terrain à l'origine de leur dégradation. Avec près de 400 individus, plusieurs méthodes statistiques ont été mises en œuvre, depuis l'analyse des variables deux à deux jusqu'à des analyses multivariées comme l'analyse factorielle discriminante. Les résultats de ces analyses permettent de commenter les méthodes courantes de prévision des dégradations et d'en proposer certaines améliorations.

MOTS-CLEFS : affaissement minier, dégradation, analyse statistique, structure, bâti.

ABSTRACT : Recent mining subsidences that took place at the end of the 1990s in the iron-ore field cause building damage and put the emphasis on some problems. In particular, is it possible to estimate building vulnerability which are located on ground which may subside ? To answer this question, a statistical study was performed. The database collects almost 400 observations, and collects data about building damage, building properties and ground movements. Different statistical analysis (scatterplots and multivariate methods) allow some comments on traditional damage prediction methods and to suggest some new improvements.

KEY-WORDS : mining subsidence, building damage, statistical analysis, building.

1. Introduction

Entre 1996 et 1999, cinq affaissements miniers se sont produits dans le bassin ferrifère lorrain, dont la photo 1 illustre certaines des conséquences matérielles et sociales. Trois communes ont été affectées : Auboué, Moutiers et Roncourt. Un grand nombre de mines de fer en Lorraine, y compris celles à l'origine de ces récents affaissements, est situé à moins de 200 m de profondeur et a été exploité par la méthode des chambres et piliers abandonnés. Il en résulte l'existence aujourd'hui d'environ 2000 ha de zones urbanisées sous minées (Petit, 2000) et dont le risque qu'elles représentent doit être hiérarchisé. La figure 1 schématise le phénomène d'affaissement induit par

une rupture généralisée de l'exploitation souterraine qui génère à la surface des terrains des mouvements verticaux et horizontaux différentiels. Ces derniers sont traditionnellement décomposés en quatre composantes (Geddes, 1977) : l'affaissement vertical, la pente, la courbure et la déformation horizontale. La figure 1 montre un profil d'affaissement et la variation théorique des différentes composantes des mouvements de la surface le long d'un rayon de la cuvette d'affaissement.

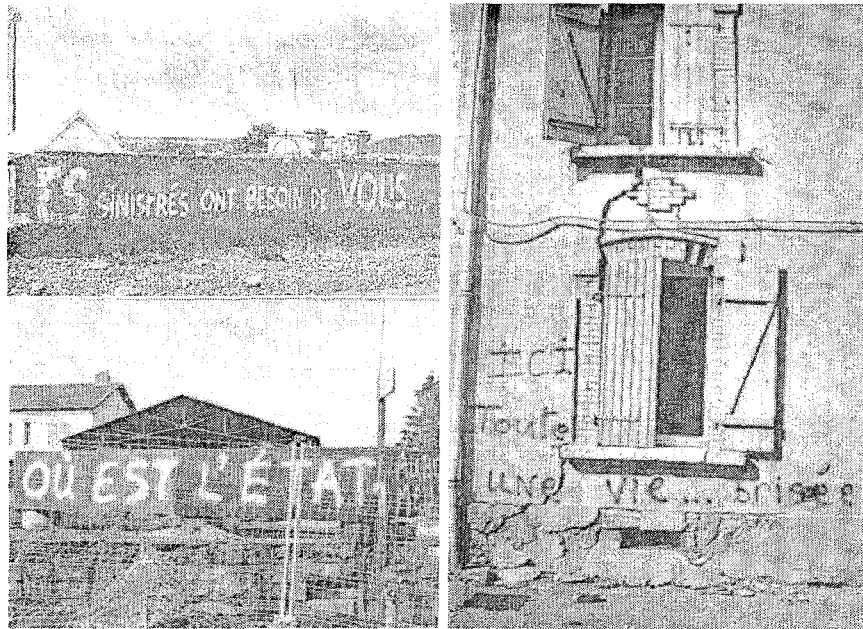


photo 1 : Illustrations de certaines des conséquences des affaissements miniers en Lorraine.

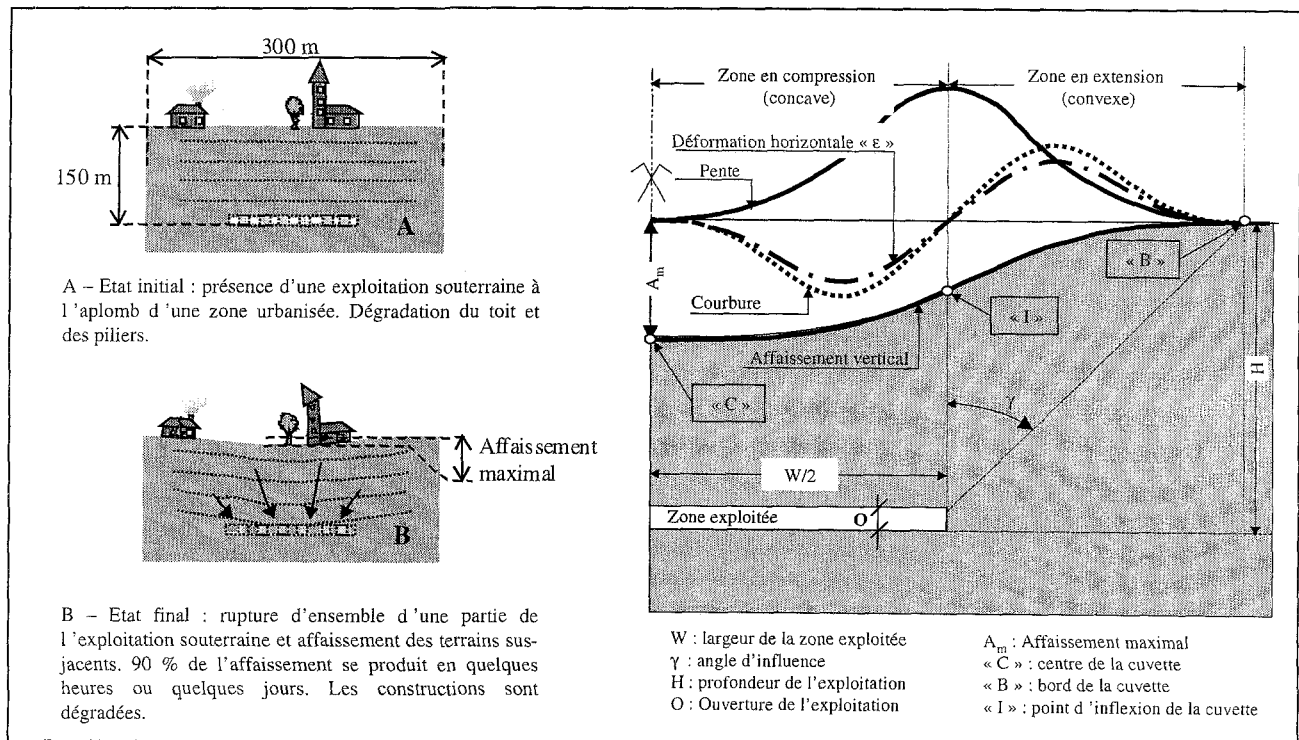


figure 1 : Présentation du phénomène d'affaissement minier et description des profils de variation des mouvements des terrains à la surface.

Un des éléments nécessaire à la hiérarchisation du risque est l'étude de la vulnérabilité du bâti ainsi que l'élaboration de méthodes permettant la prévision des dégradations du bâti en fonction du type de structure et de l'amplitude des mouvements des terrains (Deck et al. 2002). Les méthodes préexistantes, dont celles du National Coal Board (1975) et de Boscardin et Cording (1989) sont rappelées sur la figure 2 et laissent subsister plusieurs interrogations :

- Quel degré de précision en terme de caractérisation du bâti, de l'affaissement et de la dégradation faut-il donner à la méthode pour lui conférer une efficacité optimale ?
- Les méthodes existantes sont-elles adaptées au bassin ferrifère lorrain où les méthodes d'exploitation pratiquées et la nature du bâti sont différentes de celles ayant servi à établir ces méthodes de prévision ?

Pour ce faire, l'information que représentent les cinq affaissements miniers lorrains a été capitalisée au sein d'une base de données dont chacun des quatre cents individus qui la composent représente une structure dégradée. Plusieurs analyses statistiques ont été réalisées en vue de confronter les méthodes précédentes aux observations du bassin ferrifère lorrain et mettre en évidence les variables pertinentes pour une prévision des dégradations.

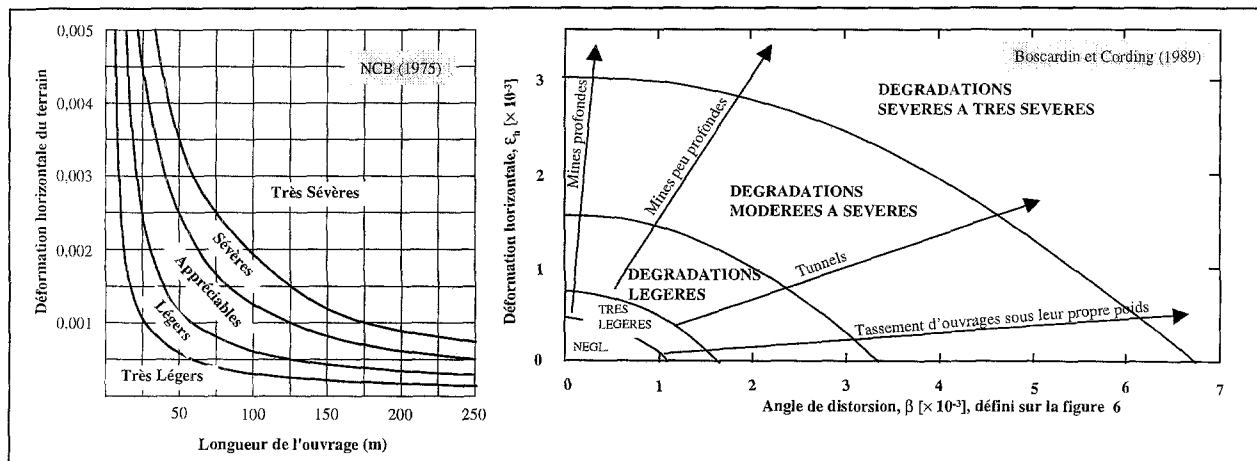


figure 2 : Exemples d'abaques de prévision des dégradations.

2. Présentation de la base de données

2.1. Présentation des affaissements du bassin ferrifère lorrain

Au cours des années 1996 à 1999, cinq affaissements miniers se sont produits dans le bassin ferrifère lorrain : rue de Metz à Auboué (1996), cité Coinville à Auboué (1996), Moutiers-Haut (1997), Moutiers "cuvette du stade" (1997) et Roncourt (1999). Pour chacun d'entre eux, il existe un plan de la cuvette d'affaissement superposé au plan cadastral comme le montre l'exemple de la cuvette de Moutiers-Haut représentée sur la figure 3. Le plan de chacune des cuvettes a pu être obtenu grâce à des mesures de nivellement et grâce à un travail de retro-analyse réalisé par des experts. Le tableau 1 synthétise les principales caractéristiques des cinq affaissements miniers étudiés.

tableau 1 : Présentation des principales caractéristiques des affaissements miniers du bassin ferrifère lorrain.

Site	Nombre de maisons dégradées	Profondeur exploitation "H" [m]	Ouverture de l'exploitation "O" [m]	Taux de défruitement "τ" [%]	Affaissement maximal en surface "A _m " [m]	Diamètre moyen de la cuvette [m]	A _m /H
Auboué, rue de Metz (1996)	130	150	6	45	1,7	400 à 600	0,011
Auboué, cité Coinville (1996)	100	175	5	40	1	200 à 400	0,0057
Moutiers-Haut, (1997)	70	120	4	55	1,38	400 à 500	0,012
Moutiers, cuvette du stade (1997)	60	140	-	55 à 60	>0,55	150 à 300	>0,004
Roncourt (1999)	18	140	2,5	53	0,65	150 à 300	0,0043

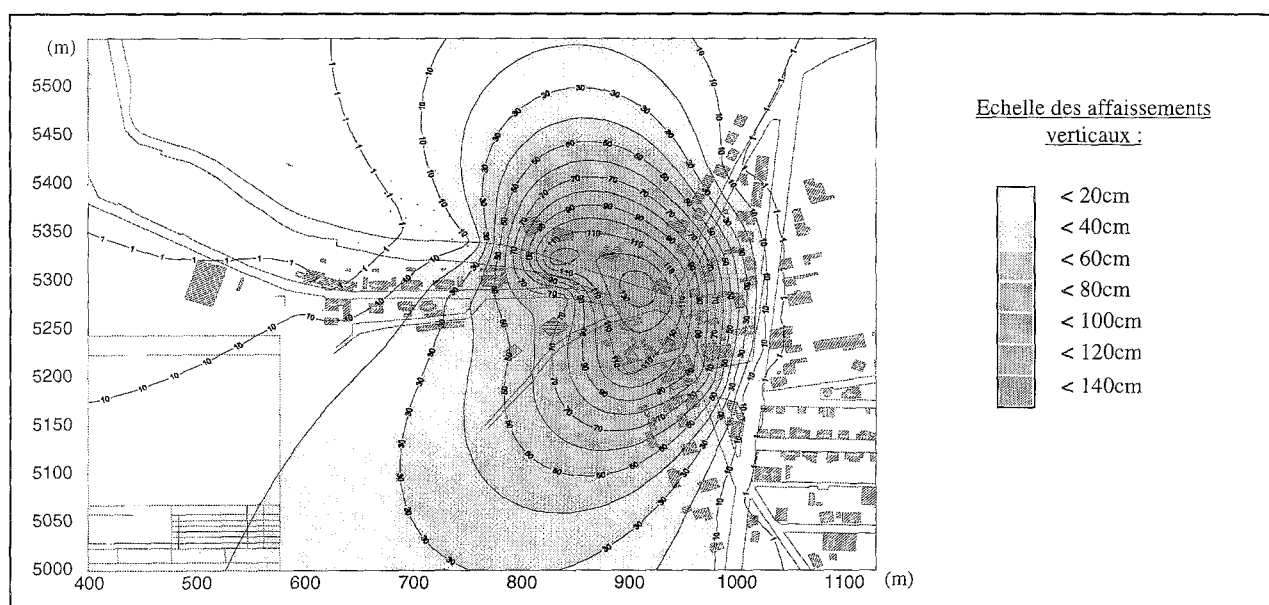


figure 3 : Cuvette d'affaissement de Moutiers-Haut (1997) superposée au plan cadastral (document Géodéris).

2.2. Présentation des variables

L'information nécessaire à l'élaboration de la base de données provient de deux sources. La première correspond aux plans des cuvettes d'affaissement qui permettent d'attribuer à chaque structure une valeur des mouvements de terrain l'affectant ainsi que des grandeurs caractérisant la position de chaque ouvrage par rapport aux dimensions globales de la cuvette. La seconde source correspond aux rapports d'expertise rédigés consécutivement aux affaissements et qui permettent de caractériser chaque construction ainsi que leur dégradation. Il n'a pas été possible de retrouver des informations précises sur l'aspect structurel même des habitations (type de fondation, rigidité, nature des différents matériaux mis en œuvre dans l'ouvrage,...). Cependant, en se référant à la classification de Bhattacharya et Singh (1984), on peut dire que la quasi-totalité des structures concernées correspond à une catégorie homogène : la maçonnerie. On est donc susceptible d'avoir des individus suffisamment homogènes pour qu'il ne soit pas indispensable de les caractériser plus amplement du point de vue structurel. Finalement, quatorze variables ont été retenues et sont présentées dans le tableau 2. La figure 4 permet de préciser certaines de leurs définitions.

tableau 2 : Variables utilisées pour l'étude statistique : abréviation, définition et méthodologie d'estimation.

Variable [unité]	Définition	Amplitude des valeurs	Méthodologie de renseignement	Cuvettes concernées
CLA [-]	Classe de dégradation de la structure	1 : architecturale 2 : fonctionnelle 3 : structurelle	Synthèse des rapports d'expertise + visites	Toutes
L [m]	Longueur de chaque habitation (les structures accolées sont dissociées)	8 à 33 m	Mesure directe sur les plans des cuvettes	Toutes
L _c [m]	Longueur de chaque construction (les structures accolées sont regroupées sous un seul individu)	8 à 64 m	Mesure directe sur les plans des cuvettes	Rue de Metz et Cité Coinville
PENTE [-]	Pente de la cuvette d'affaissement au niveau de chaque construction	0 à 6,5 %	Estimations à partir des courbes d'iso-affaissement	Toutes sauf Moutiers Stade
DIS [-]	Angle de distorsion de chaque construction	0 à $4 \cdot 10^{-3}$	Estimations à partir des courbes d'iso-affaissement (figure 4)	Moutiers Haut
ADEF [-]	Amplitude des déformations du terrain au niveau de chaque construction (permet de comparer les individus d'une même cuvette)	$0 < ADEF < 1$ 0 : déformation nulle 1 : déformation maximale de traction ou de compression	Estimations à partir de la localisation de la structure dans la cuvette d'affaissement, combinée à un profil de variation linéarisé et théorique de la déformation horizontale (figure 4)	Toutes
LIEU [-]	Position de chaque construction par rapport au point d'inflexion	LIEU > 0 LIEU = 0 : structure au niveau du point d'inflexion LIEU = 1 : structure au centre ou au bord de la cuvette	Estimations à partir de la localisation de la structure dans la cuvette d'affaissement (figure 4)	Toutes
P/A [°]	Orientation de l'axe principal de chaque construction par rapport à la direction de plus grande pente	$0^\circ < P/A < 45^\circ$	Mesure directe sur les plans des cuvettes (figure 4)	Toutes
ZONE [-]	Zone dans laquelle se situe la structure	-1 : zone de compression ou concave 1 : zone de traction ou convexe	Lecture directe sur les plans des cuvettes	Toutes
PROF [m]	Profondeur de l'exploitation	120 à 175 m	Synthèse des rapports d'expertise	Toutes
AMP [-]	Déformation horizontale maximale des terrains dans chaque cuvette (permet de comparer les individus de différentes cuvettes) : $AMP = A_m/H$	0,004 à 0,012	Synthèse des rapports d'expertise	Toutes sauf Moutiers Stade
COEF [-]	Coefficient d'affaissement de la cuvette : $COEF = A_m/(O \cdot \tau)$	0,49 à 0,63	Synthèse des rapports d'expertise	Toutes sauf Moutiers Stade

Une importante remarque concerne la caractérisation de la longueur de chaque structure. Les constructions lorraines sont fréquemment accolées. La question se pose de savoir si ces constructions doivent être considérées comme des ouvrages uniques de grandes dimensions ou bien s'ils doivent être décomposés en structures élémentaires de petites dimensions. Des arguments existent pour chacun de ces deux choix, et c'est pourquoi nous avons réalisé deux variantes de la base de données, la première en dissociant les constructions accolées (dont la longueur

caractéristique est notée L) et la seconde en associant les constructions accolées (dont la longueur est notée L_c). Cette ambivalence de la définition de la longueur concerne uniquement les deux cuvettes d'Auboué, les autres ne possédant pratiquement aucune construction accolée.

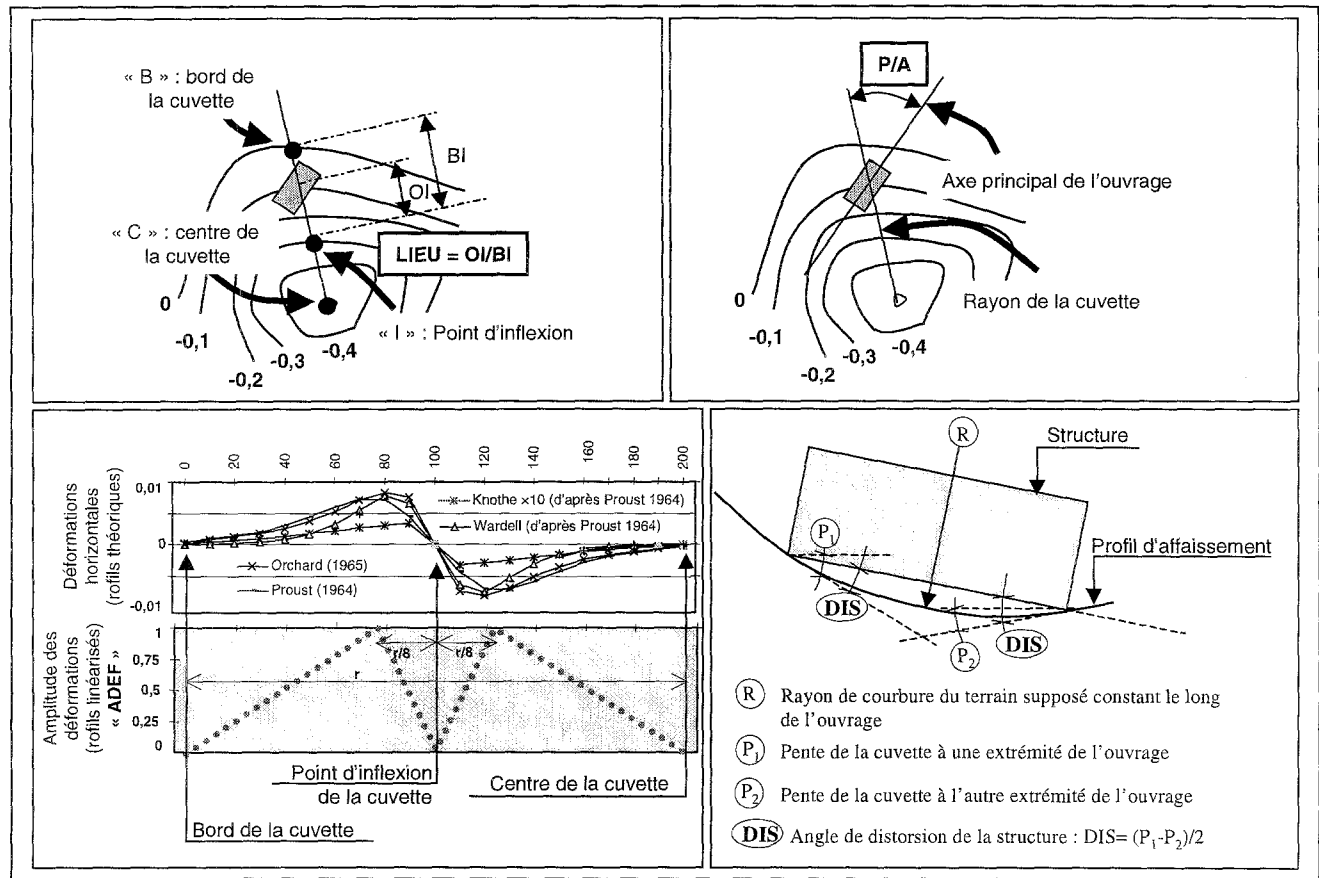


figure 4 : Compléments de définition des variables LIEU, P/A, ADEF et DIS présentées dans le tableau 2.

3. Analyse statistique

3.1. Statistiques élémentaires

Dans un premier temps, on a cherché à projeter les individus sur des plans définis par deux variables : celles correspondant au système de coordonnées des abaques du NCB (1975, figure 2 et figure 5) et celles de Boscardin et Cording (1989, figure 2 et figure 6).

Les principales conclusions sont les suivantes :

- Aucune des représentations ne permet une discrimination parfaite des dégradations.
- Les fortes valeurs de l'amplitude des déformations ADEF et de la distorsion DIS semblent correspondre aux dégradations les plus importantes, même si des valeurs nulles de ces variables peuvent également conduire aux dégradations les plus fortes. Une étude complémentaire sur la variable PENTE aboutit au même résultat (figure 7).
- Ni la longueur L (maisons accolées dissociées), ni L_c (maisons accolées regroupées) ne semblent être discriminantes.

- On retrouve bien la tendance des abaques du NCB (1975) et de Boscardin et Cording (1989) malgré, parfois, une très grande dispersion.
- La figure 6 semble montrer que la représentation de Boscardin et Cording (1989) est très pertinente. Cependant, la distorsion est compliquée à estimer et encore davantage à prévoir (figure 4). En effet, il est nécessaire d'avoir une connaissance très approfondie de la morphologie d'une cuvette d'affaissement pour être en mesure de quantifier précisément une variation de pente entre les extrémités d'un ouvrage. Il est donc probable que ce paramètre ne soit pertinent que d'un point de vue théorique.

De tels résultats légitiment la recherche de méthodes plus élaborées.

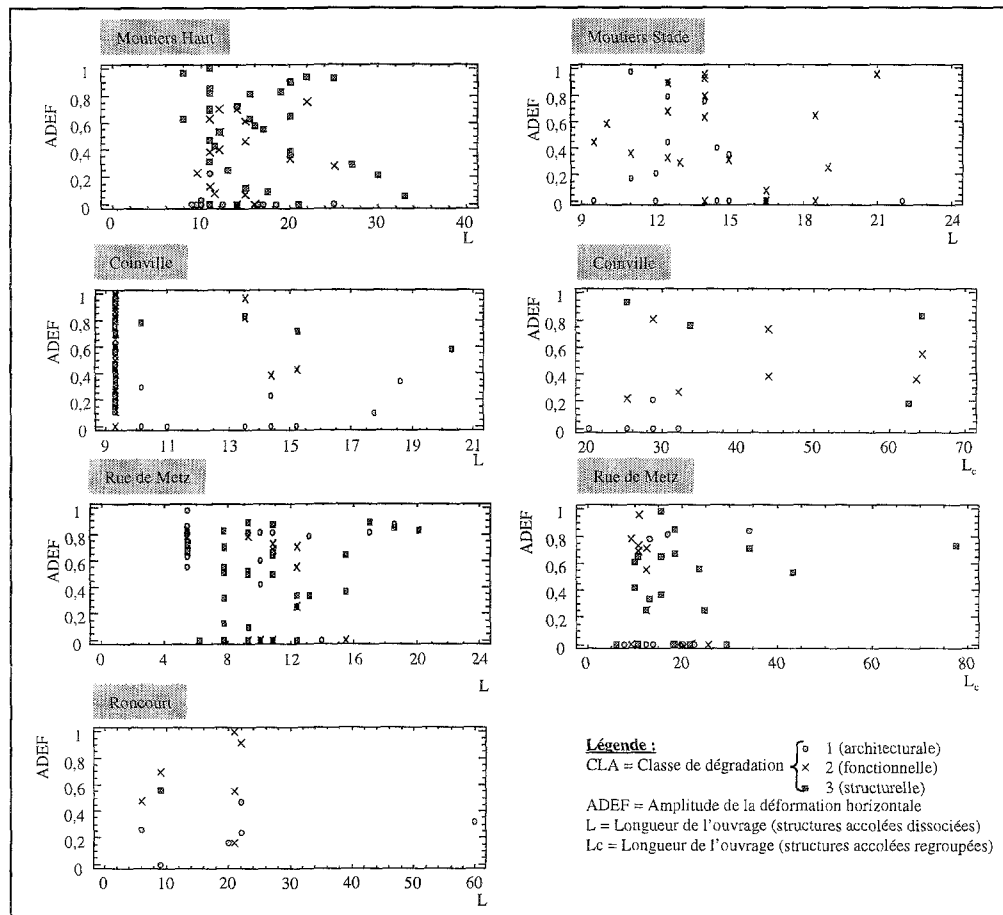


figure 5 : Projection des individus sur des plans définis par les variables L ou L_c et ADEF.

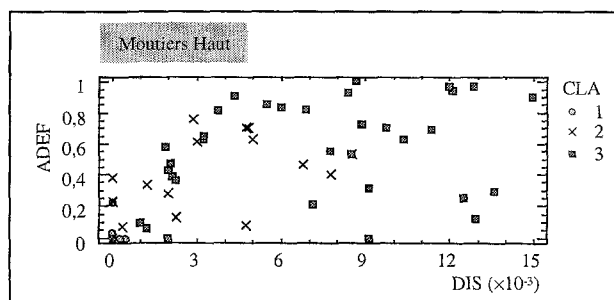


figure 6 : Projection des individus sur des plans définis par les variables DIS et ADEF.

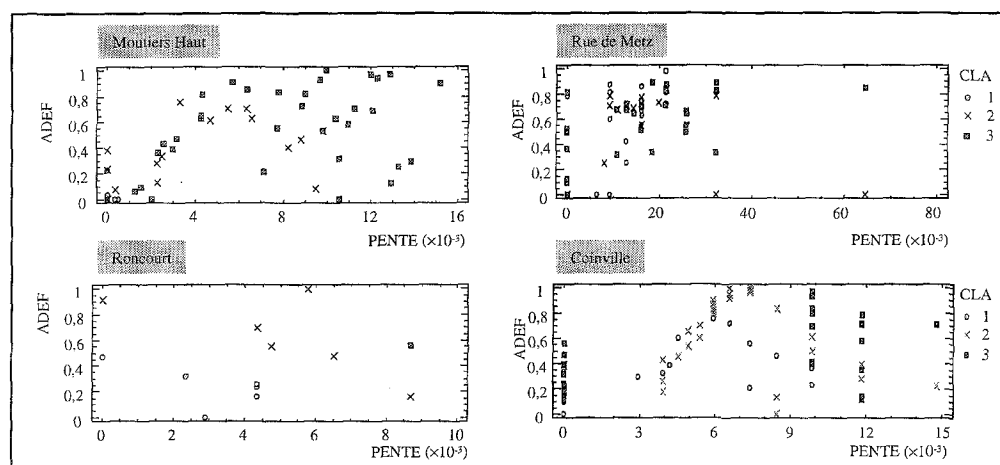


figure 7 : Projection des individus sur des plans définis par les variables ADEF et PENTE.

3.2. Analyse multidimensionnelle

Des études basées sur les techniques de l'analyse factorielle discriminante ont été menées. Leur but est de chercher des combinaisons linéaires de variables permettant la meilleure discrimination possible du type de dégradation subie par la structure. L'analyse s'est faite en deux étapes :

- analyse des cuvettes une à une en prenant en compte les variables renseignées pour chaque cuvette (PENTE, ZONE, ADEF, LIEU, L ou L_c , P/A), puis comparaison des conclusions. Cette analyse permet d'écarter l'effet de site.
- analyse de toutes les cuvettes en même temps avec les six variables précédentes complétées ou non par les variables caractéristiques de chaque affaissement (PROF, COEF, AMP). Cette analyse permet de préciser l'effet de site.

Les résultats de chacune des analyses discriminantes sont présentés par l'intermédiaire de trois éléments :

- une figure représentant la projection des individus dans un plan défini par les deux axes discriminants ;
- un tableau décrivant chacun des deux axes discriminants par l'intermédiaire de coefficients de fonctions discriminantes. Le poids d'une variable est d'autant plus important que le coefficient attribué est élevé. Par ailleurs, le signe du coefficient renseigne sur le sens de la corrélation qui peut exister entre chaque variable et la discrimination des dégradations. Les coefficients les plus significatifs ont été grisés et les coefficients présentant un caractère incohérent ont été encadrés.
- un tableau représentant les résultats de l'opération d'attribution d'une classe de dégradation à chaque individu à l'aide des fonctions discriminantes, en faisant évidemment abstraction de leur classe réelle. En comparant la classe réelle à la classe attribuée par la méthode, on peut ainsi tester son efficacité.

Les principales conclusions sont les suivantes :

- Les principales variables, permettant la discrimination des dégradations, sont LIEU, PENTE, ADEF et L ou L_c .
- La variable L_c , en remplacement de L, semble apporter parfois de meilleurs résultats. Cependant il n'est pas possible de distinguer si ce bénéfice est lié à la pertinence de la variable L_c ou à la très forte réduction du nombre d'individus de la base de données qui résulte de son emploi.

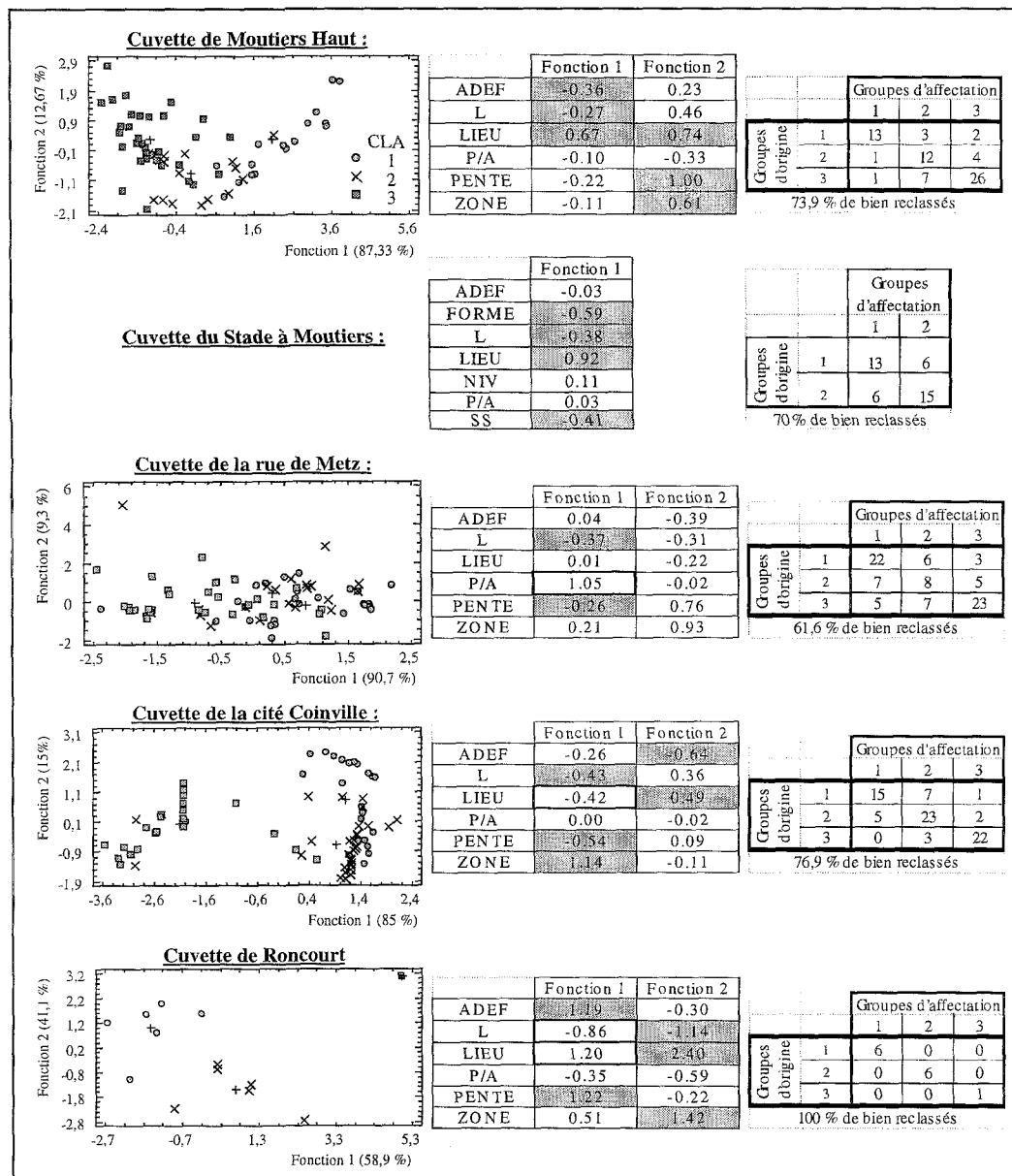


figure 8 : Analyse factorielle discriminante avec les variables de chaque cuvette prise séparément, sans regroupement des structures accolées.

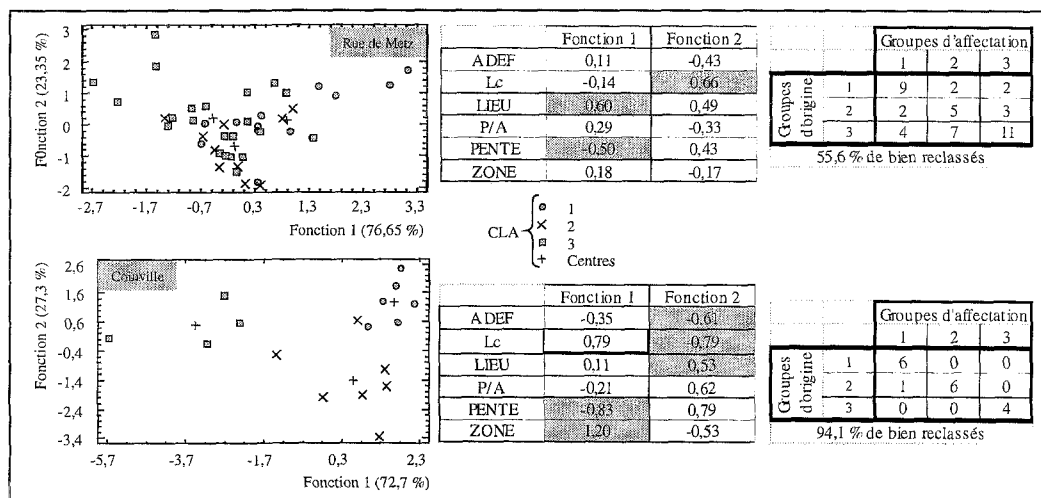


figure 9 : Analyse factorielle discriminante avec les variables des deux cuvettes prise séparément, avec regroupement des structures accolées.

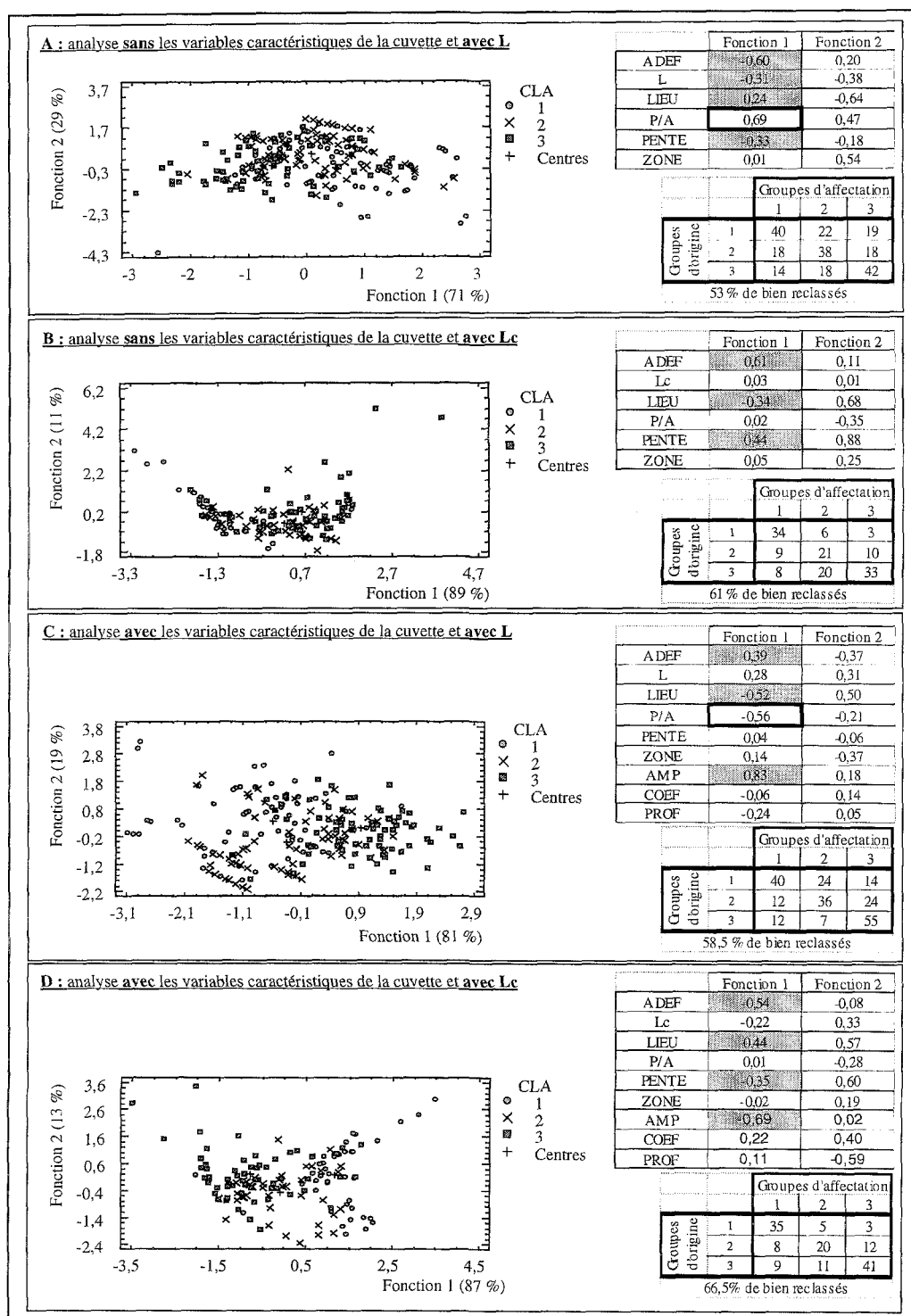


figure 10 : Analyse factorielle discriminante avec les variables de toutes les cuvettes prises simultanément, avec et sans regroupement des structures accolées.

- Le coefficient attribué à la variable ZONE est souvent important. A chaque fois que cette variable fait partie des plus corrélées avec l'un des axes discriminants, elle indique que la zone de compression (également concave) est défavorable.
- La variable P/A qui caractérise l'orientation de chaque structure par rapport à la direction de plus grande pente de la cuvette ne semble pas pertinente.
- L'axe le plus discriminant permet en général de séparer les dégradations structurelles des deux autres, alors que le second axe discrimine les dégradations architecturales des

dégradations fonctionnelles. Cependant, il n'est pas possible de mettre en évidence des variables qui seraient systématiquement corrélées au premier axe et d'autres au second.

La figure 10 représente les résultats obtenus pour l'analyse de l'ensemble des individus des cuvettes. Les principaux résultats sont les suivants :

- Les variables les plus pertinentes sont ADEF, PENTE, LIEU et AMP.
- Ni la profondeur de l'exploitation PROF ni le coefficient d'amortissement de l'affaissement COEF ne semblent être corrélés aux dégradations. En revanche, on retrouve l'importance du ratio A_m/H dénommé, pour l'étude, AMP.
- Les résultats en terme de reclassement sont assez médiocres, compris entre 53 et 67 %. Ils sont révélateurs de la précision des résultats qu'il semble pertinent d'espérer avec des méthodes de prévision des dégradations empiriques.
- Les variables caractéristiques des cuvettes permettent globalement d'améliorer les résultats des reclassements de 5 %. La variable L_c , qui englobe les structures accolées, permet une amélioration d'environ 7 % du reclassement. Ce dernier résultat est probablement lié au fait que la variable L_c a pour conséquence de réduire fortement le nombre d'individus, en particulier ceux de la cuvette de la rue de Metz qui est la plus complexe et probablement la moins fiable.
- L'axe n°1 permet une discrimination respectant l'ordonnancement des classes de dégradation.
- L'axe n°2 semble impropre à toute utilisation ou commentaire, les centres de gravités des groupes étant trop regroupés. L'inertie qui lui est attribuée est, d'ailleurs, souvent très faible.
- Les signes des coefficients des variables corrélées avec l'axe n°1 sont toujours cohérents, mis à part celui de la variable P/A lorsque les structures accolées ne sont pas regroupées. On retrouve l'effet bénéfique de la variable L_c qui aboutit à une réduction de la taille de la base de données.

4. Conclusions

Les affaissements miniers lorrains qui se sont produits entre 1996 et 1999 ont été à l'origine de nombreuses dégradations du bâti. L'existence d'importantes superficies de zones urbanisées sous-minées nécessite de se doter d'outils permettant une hiérarchisation du risque. La recherche présentée a consisté à analyser statistiquement les informations issues des affaissements miniers afin de mettre en évidence les paramètres les plus corrélés aux dégradations. Ces résultats doivent permettre de conforter une approche critique des méthodes de prévision des dégradations existantes afin d'aboutir, à courte échéance, à une méthode de prévision des dégradations propre au bassin ferrifère lorrain.

Les principales conclusions de cette étude sont les suivantes :

- La distinction des dégradations du bâti en trois classes (architecturale, fonctionnelle et structurelle) semble être optimale. Un nombre de classe inférieur aboutirait à une hiérarchisation peu précise, alors qu'un nombre supérieur poserait des difficultés de définition précise et donc d'utilisation.
- Les méthodes de prévision des dégradations basées sur deux paramètres permettent de prévoir une tendance générale, tout en conservant une importante marge d'erreur. Les résultats de l'étude

statistique permettent de les améliorer en les ajustant aux particularités du bassin ferrifère lorrain ou en les complétant au moyen de variables supplémentaires.

- L'influence des mouvements de terrain peut être appréhendée par la déformation horizontale et la pente, mais également par un nouveau paramètre, noté LIEU, caractérisant la position relative de la structure par rapport au point d'inflexion de la cuvette d'affaissement. Un tel paramètre, très pragmatique, est d'une utilisation plus simple que la déformation horizontale, tout en offrant des résultats plus satisfaisants.
- L'amplitude de la déformation horizontale maximale dans chaque cuvette est appréhendée par le ratio entre l'affaissement maximal observé et la profondeur de l'exploitation. Cette variable est pertinente pour comparer l'effet de différents affaissements sur les structures.
- Il n'est pas possible de mettre en évidence catégoriquement la nécessité de considérer les structures accolées comme un ouvrage unique de grande longueur ou, au contraire, comme plusieurs structures élémentaires de longueur plus réduite. Cependant la longueur des structures reste un facteur qui intervient dans la prévision des dégradations.

5. Bibliographie

- Bhattacharya S. et Singh M.M.. *Proposed criteria for subsidence damage to buildings*. Rock mechanics in productivity and protection. 25th Symposium on rock mechanics. 747-755, 1984.
- Boscardin M.D., Cording E.J. *Building response to excavation-induced settlement*. Journal of Geotechnical Engineering. Vol. 115, No. 1, 1987.
- Geddes J. D.. *Construction in areas of large ground movement*. Conf. Large ground movements and structures (Cardiff), 949-974, 1977
- Deck O., Al Heib M., Homand F. Gueniffey Y, Wojtkowiak F. *Méthodes de prévision des dégradations des structures bâties en zone d'affaissement minier*. Revue française de géotechnique. Numéro spécial "Géotechnique, géologie et aménagements en site urbain", juin 2002 (à paraître).
- National Coal Board. *Subsidence engineer's handbook*. 1975.
- Orchard R. J. et Allen W. S. *Ground curvature due to coal mining*. Chartered Surveyor. Vol. 97, 622-631, 1965.
- Petit D.. *La maîtrise des séquelles techniques à long terme des exploitations minières*. Les techniques de l'industrie minière. N°5, mars 2000.
- Proust A.. *Etude sur les affaissements miniers dans le bassin du Nord Pas-de-Calais*. Revue de l'industrie minière, 1964.